

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Sebelumnya

Penelitian mengenai peran gliserol pada pembakaran dilakukan oleh Yuan, *et al.* (2016). Hasil dari penelitian menunjukkan bahwa *diesel-hybrid* dengan kandungan gliserol yang tinggi dapat menyebabkan hasil pembakaran yang tidak sempurna dan menyebabkan polusi yang lebih banyak. Hal ini disebabkan karena tingginya energi yang diperlukan untuk melakukan pembakaran.

Angeloni, *et al.* (2016), melakukan penelitian tentang pembakaran terhadap gliserol mentah, variasi yang digunakan adalah pembakaran dengan menggunakan gliserol mentah, gliserol murni, dan campuran antara gliserol mentah dengan gliserol murni. Hasil dari penelitian ini didapatkan bahwa gliserol dapat mempengaruhi karakteristik dan stabilitas api.

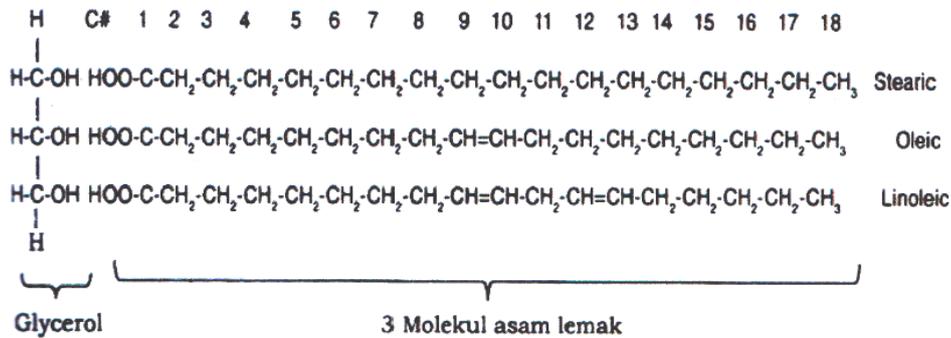
Selanjutnya menurut Wardana (2009), melakukan penelitian mengenai karakteristik pembakaran terhadap minyak jarak pada berbagai suhu minyak, variasi yang digunakan adalah temperature yang digunakan. Hasil dari penelitian ini didapatkan bahwa terdapat 2 tahap pada proses pembakaran minyak jarak, pada tahap pertama terjadi pembakaran pada asam lemak selanjutnya pada tahap kedua terjadi pembakaran pada gliserol. Pada suhu minyak tinggi terjadi *microexplosion* sebelum memasuki tahap kedua.

2.2 Bahan Bakar Nabati

Bahan bakar nabati tersusun dari molekul-molekul *triglyceride* yang terdiri dari gliserol yakni alkohol dengan rantai 3 karbon sebagai tulang punggung (rantai utama) dan 3 cabang asam lemak dengan rantai 18 karbon atau 16 karbon. Asam lemak merupakan rantai hidrokarbon lurus dan panjang yang berisi 12 sampai 24 atom karbon. Salah satu ujung molekul asam lemak berisi kelompok asam *carboxylic* (COOH). Dari kelompok asam *carboxylic* ini bisa dihitung jumlah atom karbon. Ujung molekul yang lainnya adalah methyl atau omega.

Gambar 2.1 adalah contoh sebuah struktur ikatan molekul lemak nabati. Nampak pada gambar bahwa tulang punggung dari ikatan adalah gliserol dan tiga cabangnya

adalah asam lemak. Susunan dengan sebuah gliserol dan tiga asam lemak ini disebut *triglyceride*. Karena mengandung asam lemak tak jenuh maka wujudnya dalam suhu ruang adalah cair dan biasanya disebut cair



Gambar 2.1 Susunan ikatan molekul trigliserida
Sumber : Wardhana (2008:38)

Minyak nabati memiliki kandungan asam lemak yang berbeda-beda tergantung tanaman nabatinya. Perbedaannya terdapat pada jumlah konsentrasi asam lemak jenuh dan asam lemak tidak jenuh, juga dari jumlah persentase asam lemak yang terkandung di dalamnya. Ada berbagai jenis asam lemak seperti tabel 2.1

Tabel 2.1 Jenis asam lemak dalam minyak nabati

Jenis Asam Lemak	Nama Sistematis	Struktur	Formula
Asam laurat	Dodekanoat	12:00	C ₁₂ H ₂₄ O ₂
Asam Miristat	Tetradekanoat	14:0	C ₁₄ H ₂₈ O ₂
Asam Palmitat	Heksadekanat	16:0	C ₁₆ H ₃₂ O ₂
Asam Stearat	Oktadekanat	18:0	C ₁₈ H ₃₆ O ₂
Asam Arakidat	Eikosanat	20:0	C ₂₀ H ₄₀ O ₂
Asam Behenat	Dokosanat	22:0	C ₂₂ H ₄₄ O ₂
Asam Lignoserat	Tetrakosanat	24:0	C ₂₄ H ₄₈ O ₂
Asam Oleat	cis-9-Oktadekanat	18:1	C ₁₈ H ₃₄ O ₂
Asam Linoleat	cis-9-,cis-12-Oktadetrienoat	18:2	C ₁₈ H ₃₂ O ₂
Asam Linolenat	cis-9-,cis-12,cis-15-Oktadetrienoat	18:3	C ₁₈ H ₃₀ O ₂
Asam Erukat	cis-13-Dokosenat	22:1	C ₂₂ H ₄₂ O ₂

Sumber : Wijayanti, 2008

2.3 Minyak Kelapa Sawit

Minyak kelapa sawit didapat dari hasil pengolahan buah kelapa sawit (*Elaeis guinensis*). Secara garis besar buah kelapa sawit dibagi menjadi dua bagian yaitu serabut buah (*pericarp*) dan inti (*kernel*). Serabut buah kelapa sawit terdapat tiga lapis yaitu lapisan luar atau kulit buah yang disebut *pericarp*, lapisan sebelah dalam disebut *mesocarp*

atau *pulp* dan lapisan paling dalam disebut *endocarp*. Inti kelapa sawit terdiri dari lapisan kulit biji (*testa*), *endosperm* dan embrio. *Mesocarp* memiliki kandungan kadar minyak rata-rata sebesar 56%, inti (*kernel*) mengandung minyak sebesar 44%, dan *endocarp* tidak mengandung minyak. Minyak kelapa sawit seperti umumnya minyak nabati yang lainnya juga merupakan senyawa yang tidak larut dalam air, sedangkan komponen penyusunnya yang utama adalah trigliserida dan nontrigliserida (Pasaribu, 2004).

Komposisi asam lemak jenuh dan asam lemak tidak jenuh pada kelapa sawit relatif sama, kandungan asam lemak jenuh sebesar 49,9 % dan asam lemak tidak jenuh sebesar 49,3 %. Asam lemak dominan pada CPO adalah palmitat sebesar 32 – 59 % dan oleat sebesar 27 – 52 % (Safitri, 2014). Komposisi asam lemak pada minyak sawit dapat dilihat pada tabel 2.3.

Kelapa sawit sebagai tanaman energi memiliki nilai ekonomis yang tinggi. Hampir semua bagian tanaman kelapa sawit dan pengolahan minyak lebih lanjut dapat dimanfaatkan untuk berbagai keperluan. Pemanfaatan biodiesel sebagai bahan bakar nabati merupakan salah satu alternatif untuk meningkatkan nilai ekonomi minyak kelapa sawit khususnya bagi petani atau kelompok tani setempat. Biodiesel dapat dibuat dari bahan baku minyak kelapa sawit, jarak pagar, dan kedelai, namun berdasarkan kuantitas dan pengembangan produksi, pembuatan biodiesel dengan bahan baku minyak kelapa sawit lebih potensial, karena infrastuktur dan suprastruktur telah tersedia di Indonesia (Adhi, 2013). Selain itu produktifitas biodiesel minyak kelapa sawit di Indonesia juga sangat tinggi.

Tabel 2.2 Komposisi minyak kelapa sawit

Komponen	Komposisi (%)
Trigliserida	95,62
Asam lemak bebas	4,00
Air	0,20
Phosphatida	0,07
Karoten	0,03
Aldehid	0,07

Sumber : Gunstone. (1997)

Tabel 2.3 Komposisi asam lemak pada minyak kelapa sawit

No	Persen (%)	Jenis Asam Lemak	Rumus Kimia	Mr	MOL
1	0,42	Asam Laurat	C12H24O2	200	0,00021
2	0,84	Asam Miristat	C14H28O2	256	0,00032813
3	44,90	Asam Palmitat	C16H32O2	256	0,01753906
4	6,40	Asam Linoleat	C18H32O2	280	0,00228571
5	42,40	Asam 8-Oktadekanoat	C19H36O2	296	0,01432432
6	1,06	Asam Elaidat	C18H34O2	282	0,00037589
7	3,98	Asam Stearat	C18H36O2	284	0,00140141

Sumber : Laboratorium Jurusan Farmasi Universitas Airlangga Surabaya

2.4 Pembakaran

Pembakaran adalah reaksi kimia antara bahan bakar dengan pengoksidasi (oksigen atau udara), yang menghasilkan baik panas maupun cahaya. Proses pembakaran bisa berlangsung jika ada:

1. Bahan bakar
2. Pengoksidasi (Oksigen/udara)
3. Panas atau energi aktivasi



Gambar 2.2 Ilustrasi Proses Pembakaran
Sumber : Wardhana (2008:3)

Pembakaran adalah reaksi eksothermis. Dengan demikian secara lebih fundamental bisa didefinisikan bahwa pembakaran adalah proses lepasnya ikatan-ikatan kimia lemah bahan bakar akibat pemberian energi tertentu dari luar menjadi atom-atom bermuatan yang aktif kemudian bereaksi dengan oksigen membentuk ikatan molekul-molekul kuat yang menghasilkan panas dalam jumlah sangat besar dan cahaya. Energi panas berfungsi agar molekul bahan bakar dan oksigen dapat dipecah.

Pembakaran digambarkan dengan tiga karakter, yang pertama ditentukan oleh cara reaktan terbakar di dalam zona reaksi, karakter kedua ditentukan oleh perilaku aliran (aerodinamika) reaktan saat melintasi zona reaksi apakah aliran tersebut turbulen atau laminar, dan karakter ketiga ditentukan oleh keadaan fisik awal dari bahan bakar, apakah berbentuk padat, cair, atau gas.

Berdasarkan cara reaktan terbakar, pembakaran dibagi menjadi dua yaitu pembakaran premiks dan pembakaran difusi.

- a. Pembakaran premiks, pembakaran yang reaktannya (bahan bakar dan udara) bercampur sebelum masuk ke zona
- b. Pembakaran difusi, pembakaran yang reaktannya tidak bercampur sebelum terbakar

2.5 Pembakaran *Premixed*

Pada umumnya pembakaran dapat dibagi menjadi tiga karakter. Pada pembagian pertama karakter ditentukan oleh cara reaktan yang terbakar didalam zona reaksi. Apabila reaktan bahan bakar dan udara tercampur sebelum masuk ke dalam zona reaksi pembakaran tersebut dapat disebut sebagai pembakaran premiks. Pembakaran jenis ini dapat dilihat dari proses pembakaran motor bensin, las karbit, dan pembakaran roket. Pada pembakaran ini juga terjadi perambatan gelombang pembakaran yang disebut dengan *flame* (api). Pada pembakaran *premixed* ini terdapat perilaku api yang ditentukan dari aliran reaktan saat melintasi zona reaksi yaitu api laminar dan api turbulen.

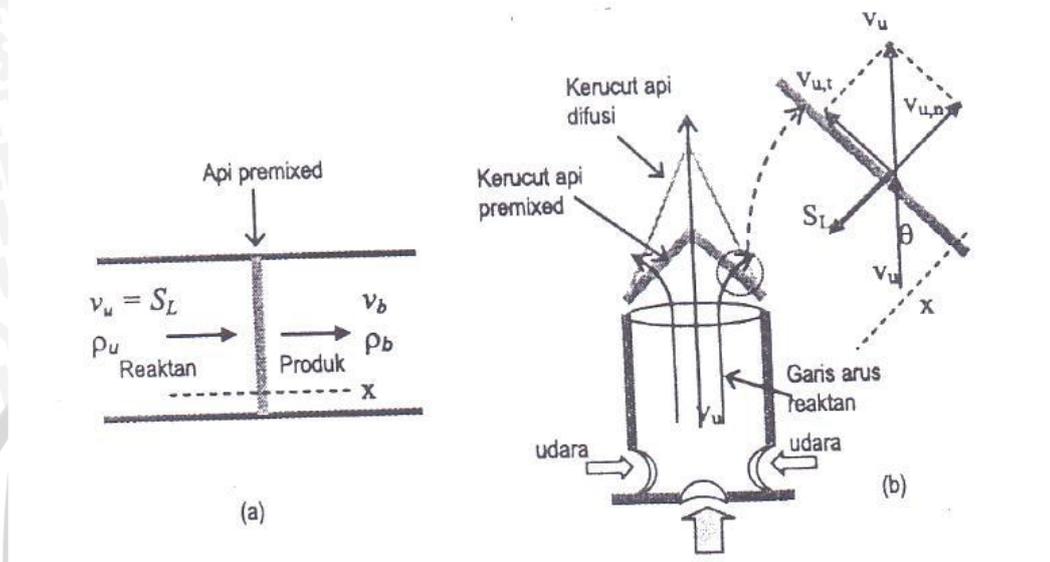
- Api *Premixed* Laminar

Api *premixed* laminar memiliki bentuk khas dari api bunsen dan api *premixed* yang sedang merambat di dalam tabung pembakar. Sederhananya proses rambatan gelombang pembakaran di dalam tabung dapat dibayangkan seperti pada gambar 2.3

- Api *Premixed* Turbulen

Aliran turbulen dapat bekerja untuk meningkatkan rambatan api, namun hal mengenai aliran turbulen dapat meningkatkan reaksi kimia ini belum jelas kebenarannya

karena belum ada metode universal yang praktis untuk memprediksi perilaku api turbulen. Api turbulen ini berbeda dari api laminar yang kecepatan nyalanya tergantung pada properti gas. Pada api turbulen ini kecepatan nyalanya tergantung pada jenis alirannya.



Gambar 2.3 (a) Struktur api premix dalam tabung (b) Struktur api premix pada nosel bunsen
Sumber : Wardana (2008:152)

2.6 Kecepatan Pembakaran Api *Premixed*

Vektor kecepatan pembakaran api *premixed* (S_L) merupakan kecepatan sebuah gelombang pembakaran dengan vektor kecepatan reaktan (V_u) sejajar dengan vektor kecepatan produk (V_b) didalam tabung seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.3 (a). Pada api *premixed* bunsen, garis reaktan akan membelok didekat api dan mengalir tegak lurus dengan permukaan api yang dikarenakan fluida memiliki sifat mengalir menuju ke kerapatan yang lebih rendah. Hal tersebut juga disebabkan karena adanya perubahan densitas gas reaktan yang menurun hingga 10 kali karena suhu api meningkat sekitar 3000K. Maka komponen vektor kecepatan reaktan (V_u) pada api seperti pada gambar 2.3 (b).

Untuk kondisi api stationer pada api bunsen, kecepatan api sama seperti komponen kecepatan gas reaktan, maka

$$S_L = V_u \sin \theta \quad (2-1)$$

Sumber : Wardana (2008:154)

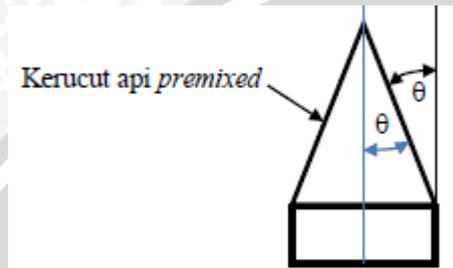
Dimana:

S_L = kecepatan api *premixed* (cm/s)

V_u = kecepatan reaktan (cm/s)

θ = sudut antara api dengan sumbu nosel

Untuk mendapatkan sudut θ , dicari garis arus reaktan (garis vertikal) dengan garis kemiringan api. Menggunakan cara berikut ini :



Gambar 2.4 Penentuan Sudut θ

Sumber : Pitsch (2014:7)

Kecepatan reaktan didapatkan dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$V_u = \frac{\dot{m}/\rho_{uap} + Q_{udara}}{A_{burner}} \quad (2-2)$$

Dimana:

\dot{m} = massa aliran reaktan (g/min)

ρ_{uap} = densitas reaktan (g/m^3)

A = luas penampang lintang nosel (mm^2)

Q_{udara} = debit aliran udara (cm^3/s)

Selain cara tersebut ada metode lain untuk menghitung kecepatan pembakaran api premiks yaitu dengan menggunakan kekekalan masa yang dilakukan didalam tabung. Pada hukum tersebut dapat diketahui massa alir reaktan sama dengan massa alir produk.

$$\dot{m}_u = \dot{m}_b = \text{tetap} \quad (2-3)$$

$$\rho_u A v_u = \rho_b A v_b$$

Sumber : Wardana (2008:154)

Dimana

ρ_b = densitas produk (g/m^3)

v_b = kecepatan produk (cm/s)

ρ_u = densitas reaktan (g/m^3)

v_u = kecepatan reaktan (cm/s)

Karena luas penampang tabung sama sebesar A maka

$$v_u = \left(\frac{\rho_b}{\rho_u} \right) \quad (2-4)$$

Sumber : Wardana (2008:154)

Jika api premiks di dalam tabung stasioner, artinya kecepatan api laminar sama seperti kecepatan reaktan yaitu, $S_L = V_u$ sehingga:

$$S_L = V_b \left(\frac{\rho_b}{\rho_u} \right) \quad (2-5)$$

Sumber : Wardana (2008:153)

2.7 Rasio Udara Bahan Bakar (*Air Fuel Ratio/AFR*)

Rasio udara bahan bakar merupakan parameter dalam pembakaran yang membandingkan antara massa udara dan bahan bakar dalam proses pembakaran. memiliki persamaan dimana N adalah jumlah mol dan M adalah massa molekul. Berikut ini adalah perumusan rasio udara bahan bakar/AFR:

$$(AFR)_{stoik} = \left(\frac{N \text{ udara}}{N \text{ bahan bakar}} \right) stoik \quad (2-6)$$

$$(AFR)_{stoik} = \left(\frac{M \text{ udara}}{M \text{ bahan bakar}} \right) stoik \quad (2-7)$$

Sumber : Wardana (2008:58)

$$(AFR)_{aktual} = \left(\frac{Q \text{ udara} \times \rho \text{ udara}}{\dot{m} \text{ bahan bakar}} \right) aktual \quad (2-8)$$

Dimana :

AFR = *Air Fuel Ratio*

N = jumlah mol

M = jumlah massa

Q = Laju udara

ρ = Massa Jenis

\dot{m} = Massa Alir

Perhitungan dalam membandingkan udara dan bahan bakar dalam reaksi pembakaran untuk mengetahui rasio udara dan bahan bakar dapat pula dengan mengguakan massa molar langsung. Avogadro mengatakan setiap satu gram zat apa saja mengandung $6,022 \times 10^{23}$ satuan massa atom (sma). Beliau juga menjelaskan volume gas yang sama

memiliki jumlah molekul sama atau massa atom zat dan dinyatakan dalam gram atau kilogram.

Atom-atom yang sering terlibat dalam reaksi pembakaran dengan bahan bakar hidrokarbon dan udara adalah C, H, O₂, dan N₂. Massa molar dari atom-atom tersebut dapat diketahui dari table 2.4

Tabel 2.4 Massa Molar Unsur

Atom/molekul	Massa molekul (sma)	Massa molar (g)
C	12,01	12,01
H	1,01	1,01
O ₂	32	32
N ₂	28,02	28,02

Sumber : Wardana (2008:59)

2.8 *Equivalence ratio* (Φ)

Equivalence ratio adalah perbandingan rasio campuran bahan bakar dan udara (AFR) stoikiometri dengan rasio campuran bahan bakar dan udara (AFR) aktual. Rumus persamaan *Equivalence ratio* adalah sebagai berikut :

$$\Phi = \left(\frac{AFR_{stoik}}{AFR_{aktual}} \right) \quad (2-9)$$

Sumber : Wardana (2008:65)

Equivalence ratio digunakan untuk mengetahui kandungan yang terdapat pada campuran udara-bahan bakar termasuk campuran kaya, miskin, atau stoikiometri. Campuran kaya adalah campuran yang mengandung lebih banyak bahan bakar. Campuran miskin adalah campuran yang mengandung lebih banyak udara. Dan campuran stoikiometri adalah campuran udara-bahan bakar berada di konsentrasi yang benar.

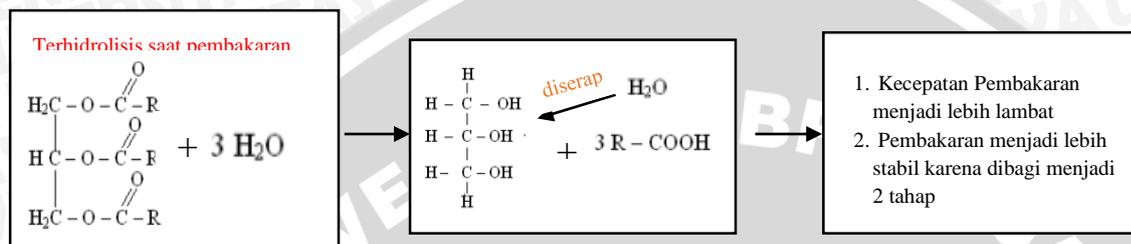
- $\Phi > 1$ termasuk campuran kaya, terdapat kelebihan bahan bakar (*fuel-rich mixture*)
- $\Phi < 1$ termasuk campuran miskin, dimana kekurangan bahan bakar (*fuel-lean mixture*)
- $\Phi = 1$ termasuk campuran stoikiometri

2.9 Gliserol

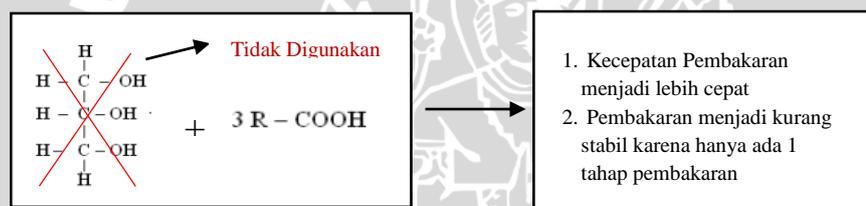
Gliserol merupakan produk samping dari produk biodiesel dari reaksi transesterifikasi dan merupakan senyawa alkohol dengan gugus hidroksil berjumlah tiga buah. Gliserol (1,2,3 propanetriol) merupakan cairan yang tidak berwarna, tidak berbau dan merupakan cairan kental yang memiliki rasa manis (Pagliaro, 2008). Gliserol dapat

2.10 Konsep

Pada gambar 2.1 sudah dijelaskan bagaimana gambaran susunan ikatan molekul pada trigliserida. Pada ikatan trigliserida kebanyakan molekul-molekulnya mengandung atom karbon dan hidrogen dengan hanya 6 atom oksigen permolekul. Ini berarti lemak dan minyak nabati adalah mirip dengan hidrokarbon dalam petroleum, yakni mereka adalah bahan bakar yang bagus.



Gambar 2.7 Mekanisme pembakaran pada minyak nabati mentah



Gambar 2.8 Mekanisme pembakaran pada minyak nabati tanpa gliserol

Pada gambar berikut menunjukkan bahwa lemak dan minyak nabati mengandung tiga kelompok ester fungsional dengan kata lain lemak dan minyak nabati adalah ester dari tri-alkohol, yakni gliserol. Salah satu reaksi dari trigliserida adalah reaksi hidrolisis dari kelompok ester. Reaksi hidrolisis menghasilkan gliserol dan tiga asam lemak seperti yang terlihat pada gambar 2.7

Gliserol merupakan cairan tidak berwarna yang bersifat higroskopis, tidak berbau dan merupakan cairan kental yang memiliki rasa manis. Seperti air, gliserol dapat membentuk ikatan hidrogen. Setiap molekul gliserol memiliki tiga gugus $-\text{OH}$ yang dapat turut serta dalam ikatan hidrogen dengan molekul gliserol yang lain. Selain itu, karena bentuknya, molekul-molekul ini memiliki kecenderungan besar untuk menyangkut daripada menggelincir antara molekul satu dan yang lain seperti molekul dalam cairan yang lebih kental. Interaksi ini menyumbang pada tingginya viskositas gliserol.

Tabel 2.5 Viskositas beberapa cairan

Tabel 12.3 Viskositas Beberapa Cairan yang Umum pada Suhu 20°C

Cairan	Viskositas (N det/m ²)*
Aseton (C ₃ H ₆ O)	$3,16 \times 10^{-4}$
Benzena (C ₆ H ₆)	$6,25 \times 10^{-4}$
Karbon tetraklorida (CCl ₄)	$9,69 \times 10^{-4}$
Etanol (C ₂ H ₅ OH)	$1,20 \times 10^{-3}$
Diethyl eter (C ₂ H ₅ OC ₂ H ₅)	$2,33 \times 10^{-4}$
Gliserol (C ₃ H ₈ O ₃)	1,49
Merkuri(Hg)	$1,55 \times 10^{-3}$
Air (H ₂ O)	$1,01 \times 10^{-3}$
Darah	4×10^{-3}

* Satuan SI untuk viskositas adalah newton detik per meter kuadrat.

Sumber: Chang (2005:376)

Dari penjelasan diatas dapat disimpulkan gliserol memiliki sifat higroskopis yang berarti gliserol dapat menyerap air dan gliserol memiliki viskositas cukup tinggi dimana apabila dilakukan pembakaran pada minyak nabati maka gliserol yang ada didalam minyak nabati tersebut membutuhkan energi kalor yang besar daripada energi yang dibutuhkan untuk membakar asam lemak yang dibutuhkan.

Namun karena sifat yang dimiliki gliserol pula pembakaran minyak nabati akan menjadi lebih stabil karena pada minyak nabati yang memiliki gliserol pembakaran dibagi menjadi 2 tahap seperti yang dijelaskan pada gambar 2.7 dimana pembakaran tahap pertama adalah tahap pembakaran asam lemak, lalu di antara pembakaran tahap pertama dan tahap kedua adalah kondisi dimana asam lemak sudah mulai habis sedangkan gliserol mulai menguap. Pada kondisi ini asam lemak akan menyusup dan terjebak di dalam gliserol. Ketika minyak sudah mulai mengalami pemanasan yang terus menerus, maka asam lemak akan menguap terlebih dahulu. Karena asam lemak terjebak didalam gliserol maka tekanan gelembung uap asam lemak akan meningkat dan akhirnya pada tekanan tertentu gelembung uap meledak menjadi ledakan micro. Sedangkan pada minyak nabati tanpa gliserol pembakarannya hanya terbakar dalam satu tahap. Dimana tahap tersebut mirip pada tahap pertama pembakaran pada minyak nabati dengan gliserol seperti yang terlihat pada gambar 2.8

2.11 Hipotesis

Hipotesis dari penelitian ini adalah kandungan gliserol yang terdapat dalam minyak kelapa sawit (*palm oil*) mempengaruhi laju kecepatan api, dimana gliserol memiliki sifat menyerap air serta viskositas cairannya yang sangat tinggi sehingga mengakibatkan

pembakaran menjadi tidak sempurna dan membutuhkan lebih banyak energi. Namun sifat gliserol tersebut juga menjadikan kandungan gliserol dalam minyak kelapa sawit (*palm oil*) mampu menjaga hasil pembakaran menjadi lebih stabil karena butuh energi kalor yang lebih besar untuk membakar gliserol.

